

Кравець І.А.; Андрієвський А.П.; Борейко Л.Б., Миколенко М.О. Кравчук С.М., Плахтій В.М.// Оpubлiк. 10.02.2011 р. бюл. Деп. Інтелектуальної власності № 3/2011. 16.Патент України № 58541 “Електромагнітний фільтр – електрохімічний регенератор” [Текст]. МПК (2011. 01) С25F 7/00./ Винахідники: Кравець І.А., Андрієвський А.П.; Борейко Л.Б., Нечосов В.В. Мусієнко І.П. Кудрицький М.О.// Оpubлiк. 11.04.2011. бюл. Держ. деп. інтел. власн. № 7/2011. 17.Патент № 57210 “Спосіб трибоелектрохімічної регенерації поверхонь пар тертя”. МПК (2006) С25D 5/24/ Винахідники: Кравець І.А., Борейко Л.Б., Андрієвський А.П., Миколенко М.О., Степурко В.В., Мусієнко І.П., Кудрицький М.О.// Оpubлiк. 10.02.2011, бюл. № 3/2011.

Поступила в редколлегию 27.07.2011

УДК 621.182.95

М.В.ПИЛАВОВ, ст.преп., Восточноукраинский университет
им. В. Даля, Луганск

А.А.КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук, доц., Восточноукраинский
университет им. В. Даля, Луганск

Д.А.КАПУСТИН, асп., Восточноукраинский университет
им. В. Даля, Луганск

К.Н.АНДРИЙЧУК, канд. техн. наук, доц., Восточноукраинский университет
им. В. Даля, Луганск

ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМ ГИДРОТРАНСПОРТА

В статье производится обобщение зависимостей, определяющих переход вязкопластических гидросмесей от ламинарного режима течения к турбулентному. С учетом чего представлены зависимости для определения коэффициента потерь на трение для таких сред.

Ключевые слова: гидросмесь, вязкопластичный, зависимость, ламинарный, турбулентный.

У статті призводиться узагальнення залежностей, визначаючих перехід в'язкопластичних гідросумішей від ламінарного режиму плину до турбулентного. З обліком чого представлені залежності для визначення коефіцієнта втрат на тертя для таких середовищ.

Ключові слова: гідросуміш, в'язкопластичний, залежність, ламінарний, турбулентний.

The paper is a generalization of the dependency determines the transition of viscous-plastic slurries from laminar to turbulent flow. Given what plots to determine the coefficient of friction losses for such media.

Key words: slurry, viscous-plastic, dependence, laminar, turbulent.

Развитие гидротранспорта в нашей стране требует дальнейшего исследования течения неньютоновской жидкости в трубопроводах.

Гидросмеси проявляют неньютоновские свойства, если концентрация твердых частиц достигает 60% - 70%, и в общем случае их течение описывается уравнением Балкли-Гершеля

$$\tau = \tau_0 + K \left(\frac{du}{dr} \right)^{n-1} \frac{du}{dr}, \quad (1)$$

где τ_0 - начальное напряжение сдвига; K – коэффициент консистенции жидкости; n - параметр нелинейности.

Методы расчета, приведенные в литературе [1-3] позволяют анализировать различные случаи ламинарного течения в цилиндрических трубах. В то же время, вопросы перехода ламинарного режима течения в турбулентный изучены в меньшей степени [4]. Известные методы основываются на использовании экспериментальных данных и не имеют общности, что характерно для полуэмпирических теорий турбулентности ньютоновской жидкости.

Целью является обобщение полуэмпирических теорий для расчета параметров перехода течения вязкопластичных жидкостей в турбулентный режим и расчетов путевых потерь на трение.

Материалы и результаты исследования

Условием полного гидродинамического подобия потоков является равенство отношений всех сил (тяжести, давления, инерции, вязкости) для двух потоков. Вследствие физических особенностей полное подобие всех сил осуществить невозможно. Поэтому усчитываются критерии подобия для частных случаев, когда в качестве преобладающей принимается какая-нибудь одна. В рассматриваемом случае такой силой является сила вязкости и для подобия потоков должно выполняться равенство критерия Рейнольдса. Используем модифицированное представление числа Рейнольдса как отношения энергии сил вязкости осредненной по потоку и кинетической энергии потока [5].

Кинетическая энергия потока E

$$E = \frac{\rho}{u_m} \int_0^1 u^3 s ds, \quad (2)$$

где $s = r / R$ - безразмерный радиус; u_m - средняя скорость; u - скорость; ρ - плотность;

энергия сил трения осредненная по потоку

$$T = \frac{2}{u_m} \int_0^1 u^3 |\tau| s ds \quad (3)$$

где τ - касательные напряжения.

Равенство критериев Рейнольдса для ньютоновской и неньютоновской жидкостей предполагает равенство отношения (T / E)

$$\frac{T}{E} = \left(\frac{T}{E} \right)^* \quad (4)$$

В случае ньютоновской жидкости, ламинарный поток переходит в турбулентный режим, когда число Рейнольдса около 2000. Подставляя в выражение Пуайзеля для профиля скорости, получим

$$\left(\frac{T}{E} \right)^* = \frac{4}{1875} \quad (5)$$

Таким образом, число Рейнольдса для неньютоновской жидкости с учетом (2, 3, и 4)

$$\text{Re}_{HH} = \frac{64E}{15T} \quad (6)$$

На рис.1. представлены экспериментальные данные для критического числа Рейнольдса псевдопластика и дилатантной жидкости от параметра нелинейности n . Отметим, что критическое число Re_{HH} практически не зависит от параметра нелинейности. Среднее значение критического числа Рейнольдса составляет примерно $2 \cdot 10^3$. Учитывая это, коэффициент гидравлического трения

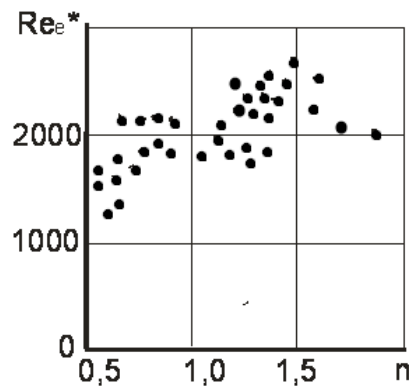


Рис.1. Зависимость критического числа Рейнольдса для псевдопластика и дилатантной жидкости Re_c от параметра нелинейности

$$\lambda = 64 / Re_{HH} \quad (7)$$

Для анализа турбулентного потока необходимо использовать одну из теорий турбулентности [6, 7]. Наиболее удобна для данного случая является двухзонная модель, в соответствии с которой вязкий подслой существует вблизи стенки трубы и на некотором расстоянии от стенки переходит в полностью развитой турбулентный поток.

При использовании двухзонной модели турбулентности, главный вопрос заключается в определении положения линии сочленения между ламинарным и турбулентным профилями скорости.

Толщина вязкого подслоя может быть определена с помощью формулы (2)-(3), где интегрирование проводится в пределах от вязкой зоны потока $1 - (1 - \bar{\delta})$ при условии, что $\bar{\delta} \ll 1$ и используется следующая формула, которая была экспериментально определена для ньютоновских жидкостей

$$\nu_\tau \bar{\delta} / \nu = \alpha \quad (8)$$

где $\nu_\tau = (\tau_w / \rho)^{1/2}$ - динамическая скорость, определяемая из пристенного трения; $\bar{\delta}$ - толщина вязкого подслоя; $\alpha = 10,5 - 13,5$ - эмпирический коэффициент.

Безразмерная толщина вязкого подслоя для нелинейно-вязкопластической жидкости

$$\bar{\delta} = \alpha Re_\tau^{-1/n} (1 - s_p)^{-1/n} \quad (9)$$

где $Re_\tau = R^n \nu_\tau^{2-n} \rho K^{-1}$ - динамическое число Рейнольдса.

Используя формулу Прандтля, представим распределение касательных напряжений внутри вихревой зоны потока в виде

$$\tau = \tau_w s = \rho l^2 \left| \frac{du}{dr} \right| \frac{du}{dr} = \rho \varepsilon_t \frac{du}{dr} \quad (10)$$

где длина пути смещения l взята из формулы Никурадзе

$$\bar{l} = l / R = 0,2(1 - s^2) [1 - 0,3(1 - s^2)] \quad (11)$$

После преобразований и учитывая, что концентрированные (золотые в том числе) гидросмеси проявляют свойства вязкопластичных сред ($\tau_0 \neq 0; n = 1$), получим зависимость расчета коэффициента гидравлического трения

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{1}{\sqrt{\delta}} \left\{ \frac{1}{2} \text{Re}_m \left(\frac{\lambda}{\delta} \right)^{\frac{1}{2}} (1 - s_p)^2 \cdot \{ [1 - (1 - \bar{\delta} / (1 - s_p))^2] \cdot (1 - \bar{\delta})^2 \} + \frac{1}{2} (1 - s_p^2) [(1 - \bar{\delta} / (1 - s_p))^4 - 1] + \right. \quad (12)$$

$$\left. + \frac{2}{3} s_p \left(\frac{8}{\lambda} \right)^{1/2} \left(\frac{He}{\text{Re}_m^2} \right) \times [(1 - \bar{\delta} / (1 - s_p))^3 - 1] \right\} + \varphi(\bar{\delta})$$

где $\text{Re}_m = Ru_m \rho K^{-1}$ - число Рейнольдса определяемое по средней скорости потока; функция $\varphi(\bar{\delta})$ представленная на рис. 2.

Расчет также можно производить несколько по упрощенной формуле

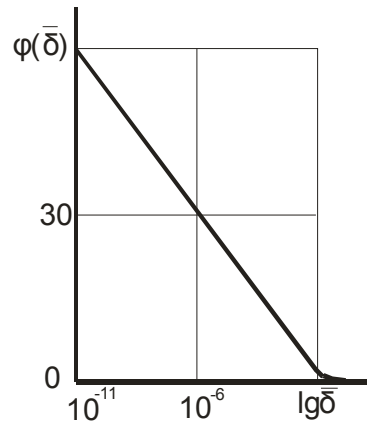


Рис.2. Зависимость функции φ от $\bar{\delta}$

$$\lambda = \frac{1}{(2 \lg \text{Re}_\tau + 2 \lg [(1 - s_p)(3 + s_p^4 - 4s_p)] + 0,251)^2} \quad (13)$$

Выводы

Течения вязкопластический гидросмесей подчиняется обобщенным зависимостям течения нелинейно-вязкопластичных сред, что позволило определить параметры перехода ламинарного режима течения в турбулентный и коэффициент гидравлического трения в зависимости гидравлических числа Рейнольдса и реологии жидкости.

Список литературы: 1. *Wilkinson W.L.* Non-Newtonian Fluids.-London, Pergamon Press, 1960. 2. *Сорока С.И.* Реология жидкости/ С.И. Сорока. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В Даля, 2001. - 48 с. 3. *Недопекин Ф.В.* Основы механики сплошных сред/ Недопекин Ф.В., Коваленко А.А., Соколов В.И., Андрийчук Н.Д., Гусенцова Я.А. - Луганск, Изд-во ВНУ им. Даля, 2010. – 277 с. 4. *Hanks R.W.* Low Reynolds number turbulent pipeline flow of pseudohomogeneous slurries.-In: Fifth Intern.Conf. Hydraulic Transp. Solid in Pipes, 1978, Hanover, Granfield, p. 23-34. 5. *Кондратьев А. С.* К гидродинамическому расчету контейнерных трубопроводных систем в не ньютоновских жидкостях. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1979, № 4, с. 66-72. 6. *Соколов В.И.* Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем/ В.И. Соколов. - Изд-во ВНУ им. В Даля, 1999. – 200 с. 7. *Г. Шлихтинг.* Теория пограничного слоя/ Шлихтинг Г. - М.: Наука, 1974. - 712 с.

Поступила в редколлегию 27.08.2011